

DETERMINACION DE ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL MEDIANTE IMÁGENES ASTER, OESTE DE CAJAMARCA

Greethel Rodríguez; Pedro Navarro & Cristina Cereceda

INGEMMET, Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima, frodriguez@ingemmet.gob.pe, pnavarro@ingemmet.gob.pe & ccereceda@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

La teledetección se ha convertido en una herramienta de indudable valor para el estudio de la superficie terrestre. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), es un sensor diseñado, entre otras aplicaciones, como una herramienta para la exploración minera, siendo empleado en la determinación del tipo e identificación de los minerales de alteración hidrotermal.

ASTER es el resultado de un esfuerzo cooperativo entre la NASA (USA) y el Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón (METI), realizado en diciembre de 1999. Este sensor satelital captura imágenes multispectrales, permitiendo la observación de la superficie terrestre en un amplio rango espectral que va desde el visible hasta el infrarrojo del espectro electromagnético, mediante sus tres subsistemas que registran datos simultáneamente: visible e infrarrojo cercano (VNIR), infrarrojo de la onda corta (SWIR) y el infrarrojo termal (TIR).

El objetivo de este trabajo es probar la metodología y poder determinar las zonas de alteración hidrotermal, para lo cual se ha estudiado una zona comprendida entre las coordenadas geográficas: 6°30' y 7°00' Latitud Sur y 79°00' y 79°15' Longitud Oeste, entre los departamentos de Lambayeque y Cajamarca (Fig. 1).

CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR ASTER

La principal cualidad con que cuenta el sensor ASTER es su resolución espectral. Cuenta con 14 bandas distribuidas estratégicamente en el espectro electromagnético en tres subsistemas. El VNIR cuenta con 3 bandas (0.52-0.87 micrómetros) y tiene una resolución espacial de 15 m; el SWIR posee 6 bandas (1.6-2.430 micrómetros) con 30 m de resolución espacial; y el TIR con 5 bandas (8.125-11.65 micrómetros) que cuenta con una resolución espacial de 90 m. Es de especial interés el rango espectral del subsistema SWIR debido a que abarca las zonas de absorción característica de los filosilicatos, carbonatos y minerales de alteración, permitiendo una discriminación más detallada de estos (Yamaguchi, 1998). De tal modo que estas características facilitan la determinación de zonas de alteración hidrotermal y la clasificación de minerales, mediante el uso de diferentes técnicas y algoritmos.

MARCO GEOLÓGICO

La geología del área de estudio corresponde a los afloramientos de rocas volcánicas del Grupo Calipuy (Cossio, 1964; Wilson, 1984). Sin embargo el INGEMMET ha planteado la reinterpretación de estos depósitos volcánicos a partir de la determinación de sus centros volcánicos y/o secuencias volcánicas (Navarro et al., inédito) debido a su gran importancia metalogenética. La edad del volcanismo está comprendida entre el Eoceno y Oligoceno (55-24 Ma) que en muchos casos es responsable de las alteraciones y mineralización en el norte del Perú.

En la zona se han reconocido lineamientos con orientación NO-SE, NE-SO y N-S, que han sido satisfactoriamente corroborados en campo. Estas interpretaciones se han realizado a partir de los modelos de elevación digital (modelo de Sombras y Pendientes) que han sido generados por la conversión del nivel 1B a 3A mediante el software Silcast v 1.7.

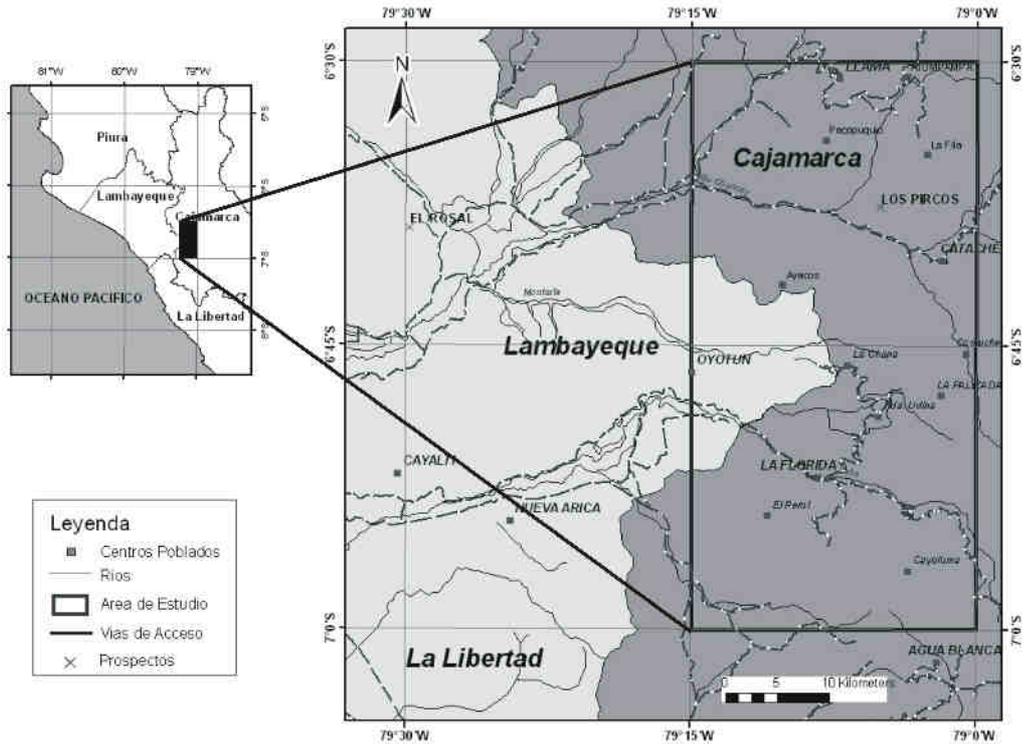


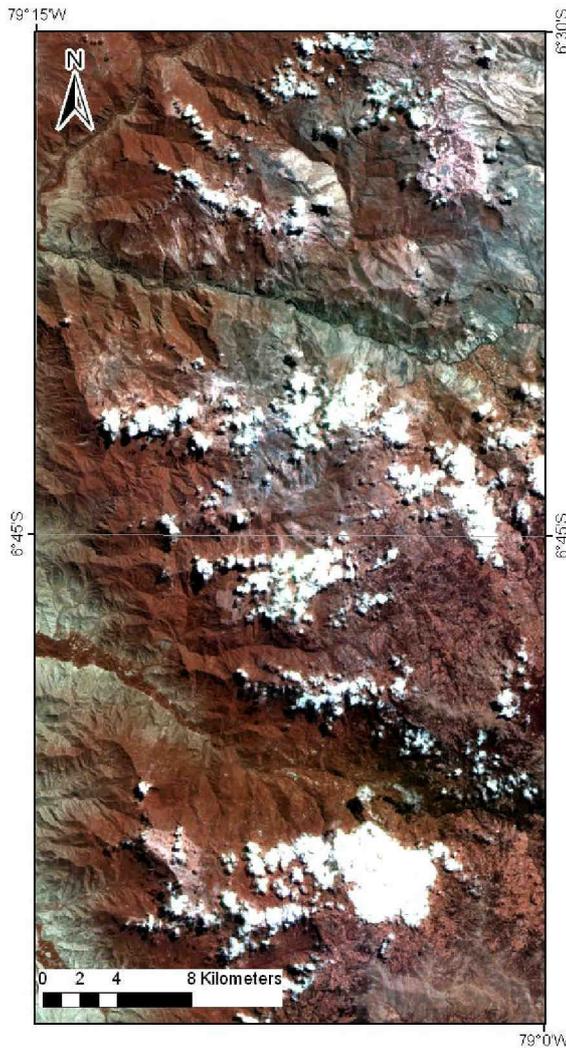
Fig. 1. Plano de Ubicación

METODOLOGÍA

El análisis y procesamiento del área de estudio comprende dos imágenes (AST_L1B_00304292005153906 y AST_L1B_00304292005153857), que fueron independientemente procesadas mediante el uso del programa ENVI. El trabajo se hizo en dos etapas de gabinete y una de campo. En la primera etapa de gabinete se realizaron las correcciones tanto geométricas como atmosféricas con la ayuda del software Silcast v. 1.7, con el cual se llega al nivel 3B, para después poder definir las zonas de alteración hidrotermal, mediante las técnicas de ratios y análisis de principales componentes; clasificando a estas zonas de alteración por minerales. En la etapa de campo se toman muestras de las zonas de alteración definidas en gabinete para crear la nueva librería espectral para lo cual nos asistimos de un espectrómetro portátil (PIMA). Finalmente en la segunda etapa de gabinete se logra el mapa de alteraciones mediante la validación de las técnicas de mapeo de alteraciones hidrotermales y la clasificación de minerales.

PROCESAMIENTO

Las zonas de alteración se logran mediante la combinación de las bandas (RGB) 4,6,8 y la 4,6,9 esto debido a las características de absorción y reflectancia de los minerales de alteración en estas bandas. Dichas combinaciones resaltan las zonas de alteración entre las tonalidades del rosado al blanco (Fig. 2). Para diferenciar entre las zonas de alteración usamos las técnicas de Cocientes o ratios y Análisis de Componentes Principales, que han permitido clasificar tres zonas de alteración: ácida, intermedia y propílica (Figs. 3 y 4). Así mismo, utilizamos algoritmos para clasificar a las zonas de alteración por minerales mediante el mapeo por ángulo espectral (SAM) y el afinamiento de filtración emparejada (MTMF).



DETERMINACION DE TIPOS DE ALTERACION

RATIOS O COCIENTES DE BANDAS

Como su nombre lo indica es la división entre los números digitales de dos materiales con comportamiento reflectivo muy distinto en dos bandas. Los resultados son píxeles con la más grande diferencia de reflectancia entre estas dos bandas espectrales involucradas (Chuvienco, 2000). De acuerdo a las respuestas espectrales en las bandas del SWIR, se realizaron los cocientes $4/6, 5/6, 5/8$ para obtener las alteraciones ácida, intermedia y propilítica respectivamente.

De esta manera, en el norte de la zona de estudio, entre los cerros Cunyac y La Fila predomina la combinación de las alteraciones intermedia más propilítica, encontrándose en una secuencia piroclástica del Centro Volcánico Incahuasi. Para el área del cerro Los Pircos se presenta la combinación de la alteración intermedia más la propilítica, alojada en la Secuencia Volcánica Chancay; mientras que en el área sur la combinación de las alteraciones es ácida más propilítica que se encuentra en los alrededores del Centro Volcánico Niepos (Fig. 3).

Fig. 2. Imagen ASTER 4,6,8 (RGB)

ANÁLISIS DE PRINCIPALES COMPONENTES (PCA)

Es una técnica matemática que tiene por objetivo sintetizar una amplia información de variables en un grupo mucho menor mediante la transformación de los datos a un nuevo sistema de coordenadas. Se tomaron como principales componentes a las bandas C1, C3, C4, C5, C6, C7 y C8; basadas también en las características espectrales.

Los resultados de esta técnica con la nueva librería espectral de las muestras tomadas en campo (Fig. 4) sugieren que hacia el norte del área de estudio entre los cerros Cunyac y La Fila se presenta una combinación entre las alteraciones intermedia y propilítica, así como también la combinación entre las alteraciones ácida e intermedia. En la zona central entre los cerros Los Pircos y Las Astillas se presentan la combinación de las alteraciones intermedia, propilítica y ácida, esta última alojada en un depósito piroclástico del Centro Volcánico San Pedro, más al sur cerca al Centro Volcánico Niepos se distingue la combinación de las alteraciones intermedia, propilítica y ácida en el Cerro Cinegal.

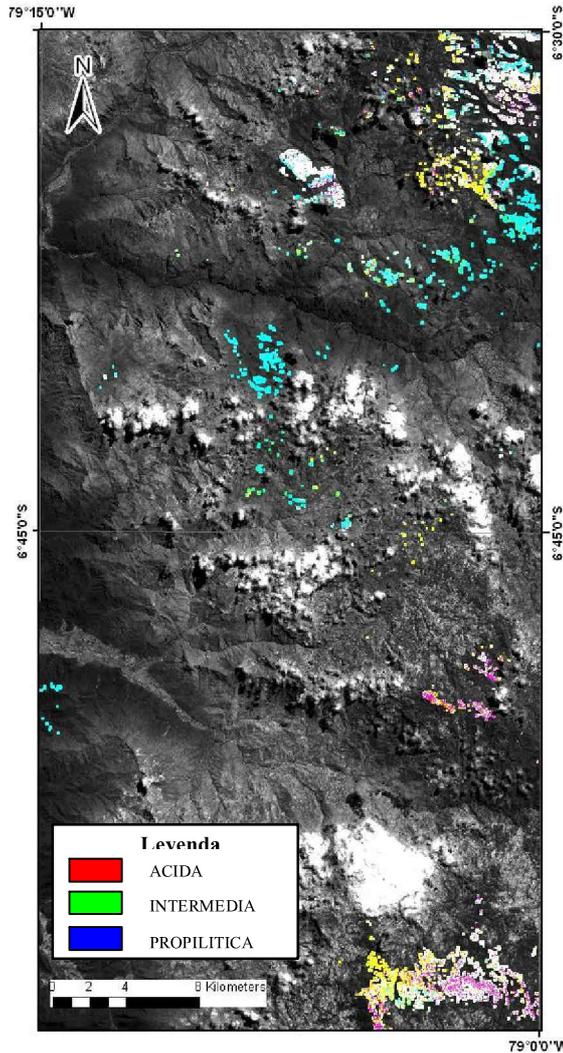


Fig. 3. Imagen Ratios (Gabinete II)

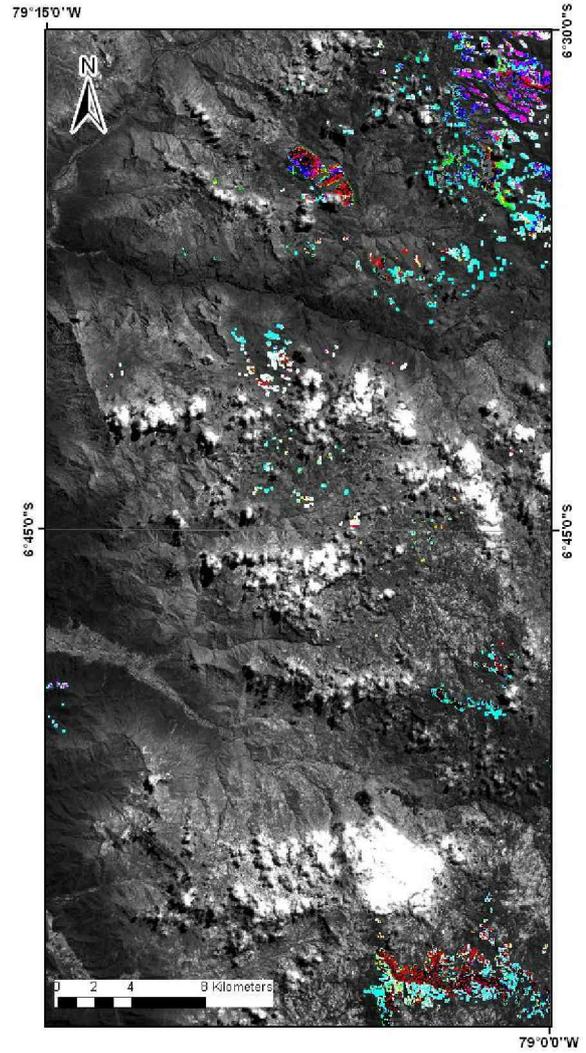


Fig. 4. Imagen PCA (Gabinete II)

DETERMINACION DE TIPOS DE MINERALES DE ALTERACION

MAPEO POR EL ANGULO ESPECTRAL (SAM)

A diferencia de las anteriores técnicas, esta clasificación es por minerales. El algoritmo clasifica a los minerales a partir de la comparación de un espectro de referencia; en este caso de la librería espectral de la USGS y el espectro de los píxeles de la imagen (Abrams & Hook, 2001). Estos espectros son tratados como vectores de “n” dimensiones, denominándose como “ángulo espectral” al ángulo que forman dichos vectores. Se clasificaron minerales como esmectita y ensambles de minerales como: caolinita-illita, en la zona norte del área en estudio entre los cerros Cunyac y la Fila, los cuales en su mayoría coincidieron con el mapeo de campo. En el cerro Los Pircos los ensambles representativos son la illita-esmectita-sericita, cuarzo-esmectita-illita, dickita-caolinita este último no corresponde a los datos de campo; para el cerro Las Astillas predominan los ensambles pirofilita-caolinita y alunita. Finalmente en el sur resaltan los ensambles illita-esmectita, caolinita-esmectita-illita, coincidiendo con los minerales encontrados pero no de manera representativa.

AFINAMIENTO DE FILTRACIÓN EMPAREJADA (MIXTURE TUNED MATCHED FILTERING)

Esta técnica es la más aconsejable para la clasificación de minerales, debido a que se utiliza toda la potencialidad de la resolución espectral de ASTER. Consiste en un filtro que permite discriminar con mayor eficacia los valores extremos de los espectros, es decir emparejando los píxeles que no tienen mezclas con ruido.

En la zona norte del área de trabajo, particularmente en el cerro Cunyac – poblado de Sexi, se distingue mayormente la clasificación de minerales de los ensambles de illita-esmectita, caolinita-esmectita, que concuerdan con la zona de alteración intermedia determinada por la técnica PCA. En el cerro los Pircos también resaltan los ensambles de illita-esmectita-sericita; cuarzo-esmectita-illita (Fig. 6) que pertenecen a la Secuencia Volcánica Chancay. También se puede resaltar en los cerros Negro y Las Astillas minerales como alunita, y los ensambles de pirofilita-caolinita, illita-esmectita (Fig. 7), los cuales se encuentran en estructuras de orientación N120°. En la zona sur, en el cerro Señal Pongo La Mesa se observan también minerales como alunita y ensambles de pirofilita-caolinita, caolinita-esmectita, illita-esmectita, los cuales están cerca de un domo andesítico porfirítico.

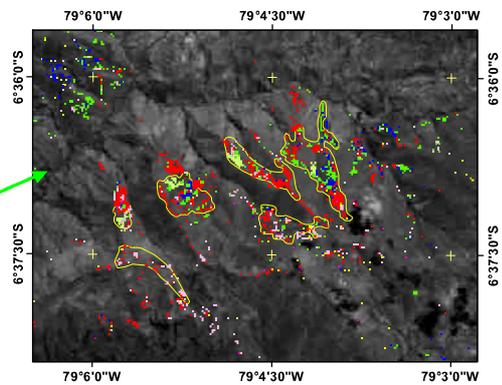
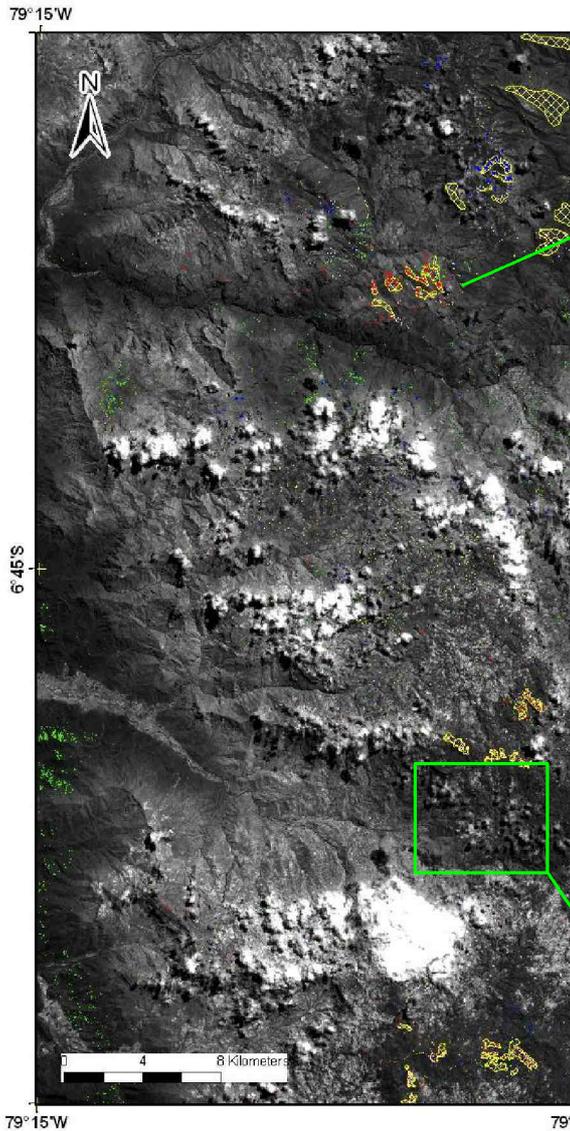


Fig. 5. Imagen Afinamiento por Filtración Emparejada

Fig. 6. Imagen de Minerales de Alteración,

Leyenda	
Metodo MTF	
Minerales	
Alunita	Caolinita-Esmectita
Dickita-Caolinita	Pirofilita-Caolinita
Illita-Esmectita-Sericita	Qz-Esmectita-Illita
Illita-Esmectita	Esmectita
Caolinita-Illita	Zonas de Alteración

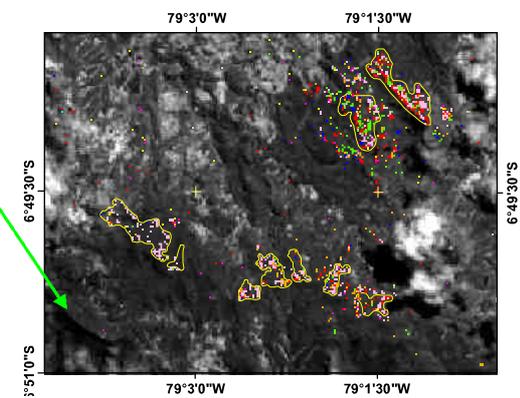


Fig. 7. Imagen de Minerales de área Central Alteración,

DISCUSIONES DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la determinación de tipos de alteración muestran mediante las dos técnicas explicadas anteriormente, en su mayoría áreas comunes, pero estas varían en el tipo de alteración, ajustándose más a los datos de campo la técnica Análisis de Componentes Principales.

La capacidad de clasificación por minerales que posee el sensor ASTER al aplicar el mapeo por ángulo espectral es válida en un gran porcentaje, pero al observar la figura 5, por la técnica de Afinamiento por Filtración Emparejada esta concuerda en mayor porcentaje, con los datos de campo.

CONCLUSIONES

El sensor ASTER debido a su resolución espectral, cubre gran parte del espectro electromagnético, constituyéndose en una herramienta para la determinación de zonas de alteración hidrotermal.

En la determinación de zonas de alteración hidrotermal se pudo validar en campo que la mayor coincidencia de zonas de alteración es la obtenida mediante técnica Análisis de Principales Componentes.

Mediante el uso de algoritmos hiperespectrales es posible la clasificación por minerales en las zonas de alteración hidrotermal. En nuestra zona de estudio la clasificación de minerales realizado por las técnicas del SAM y MTMF tuvieron como resultados imágenes que fueron controladas en campo, pudiendo validar la técnica de afinamiento de filtración emparejada, por ser la que más se ajusta a los datos de campo. En las zonas de alteración se presentan ensambles como illita-smectita-sericita; qz-esmectita-illita; caolinita-esmectita, alunita, pirofilita-caolinita.

Las áreas determinadas como zonas de alteración hidrotermal se encuentran hospedadas y asociadas con el emplazamiento de centros volcánicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección. p. 568.
- Cossio, A., Jaén, H. 1964. Geología de los Cuadrángulos de Puémape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry y Santa. Ingemmet, 17 (A), p. 69.
- Navarro, P., Cereceda, C., Monge, R., Flores, A., Rodríguez, G. (inédito). Estratigrafía del Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Zona Sur del Departamento de Cajamarca.
- Abrams, M., Hook, S. 2001. ASTER User's Handbook. Versión 2, p. 135.
- Wilson, J. 1984. Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. Serie A: Carta Geológica Nacional Bol. N° 38, Ingemmet, Lima.
- Yamaguchi, Y., Khale A., Tsu H., Kawakami T y Pniel, M.1998 Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing. Vol. 36, N°4.